Ueber die Anwendung von Dispersionslinsen

bei photometrischen Messungen

von

Dr. August Voller.

Ueber die Anwendung von Dispersionslinsen bei photometrischen Messungen

von

Dr. August Voller.

Die Aufgabe, starke Lichtquellen, z. B. grosse elektrische Bogenlichter, durch photometrischen Vergleich mit einem schwächeren Normallichte, etwa einer Kerze oder einer Gasflamme zu messen, bietet besondere Schwierigkeiten dar. Abgesehen von den allgemeinen, in der physiologischen Beschaffenheit des Auges begründeten Schwierigkeiten, welche die vollkommene Genauigkeit jeder photometrischen Messung beeinträchtigen, ist bei starken Lichtern die grosse Entfernung, in welcher sich dieselben vom Photometer befinden müssen, damit ihre Leuchtwirkung gleich derjenigen des schwächeren Normallichtes wird, sehr unbequem und störend. Bei stark lichtabsorbirender Atmosphäre kann diese grosse Entfernung selbst zu beträchtlichen Fehlern Veranlassung geben, da zu einer quantitativen Berücksichtigung dieser atmosphärischen Absorption im einzelnen Falle die nöthigen Daten in der Regel nicht bekannt sind.[1] Der Gedanke, die grosse Intensität starker Lichtquellen durch eine Zerstreuungslinse in einem beliebigen, aber unter allen Umständen genau bekannten Verhältnisse zu schwächen und so die Messungen in kleineren Abständen der Lichter von dem photometrischen Apparate auszuführen, ist daher sicherlich von nicht geringer praktischer Wichtigkeit. Soweit mir bekannt ist, haben zuerst Ayrton und Perry Behufs Schwächung starker elektrischer Lichter ein Bouguer'sches resp. Rumford'sches Photometer mit einer Dispersionslinse versehen, und davon der Royal Society im Jahre 1880 vorläufige Mittheilung gemacht.[2] Im Laufe dieses Jahres haben dieselben Gelehrten über einige Formen, die sie ihrem Instrumente inzwischen gegeben

[1] Beobachtungen, die s. Zt. von Bouguer gemacht wurden, ergaben, dass 0,973 des Lichtes durch eine Luftschicht von 1 Kilometer Länge gegangen waren, während Messungen, die bei Nebelwetter in Paris ausgeführt wurden, das Resultat ergaben, dass nur 0,62 des Lichtes einer Carcellampe eine Luftschicht von 1 meter Länge passirten. Vergl. Mémoire sur l'intensité et la portée des phares par M. E. Allard, Paris 1876.

[2] Philosophical Magazine. IX, 54. Febr. 1880.

haben, etwas ausführlicher berichtet.[1] Das photometrische Princip selbst, das in diesem Instrumente benutzt wird, ist das Rumford'sche, d. h. es wird die Gleichheit der Leuchtwirkung zweier verglichener Lichtquellen am Beobachtungspunkte aus der gleichen Stärke der Schatten eines Stabes, welchen dieselben auf einem Papierschirme erzeugen, gefolgert. Es ist jedoch klar, dass die Anwendung einer Dispersionslinse auch bei anderen photometrischen Methoden möglich ist und da ich ohnehin ein Bunsen'sches Photometer für das physikalische Kabinet anfertigen zu lassen im Begriffe stand, so liess ich dasselbe mit Dispersionslinsen von verschiedener Brennweite versehen. Eine Frage, die sich mir indess bei der Anwendung solcher Linsen zunächst aufdrängte, war die, ob ausser dem beabsichtigten, aus den bekannten Linsenformeln zu berechnenden Verlust an Intensität durch Zerstreuung des auffallenden Strahlenkegels nicht ein weiterer und weniger sicher zu ermittelnder Verlust durch Absorption und Reflexion von Licht zu befürchten stehe. Ayrton und Perry[2] glauben zu dem Schluss kommen zu können, dass dies bei Anwendung einer sehr dünnen Linse nicht der Fall sei; aber sie theilen leider keinerlei Beobachtungen mit, aus denen sie diesen Schluss gezogen haben. Untersuchungen über den Lichtverlust, den Linsen verursachen, sind nun allerdings bis jetzt nicht in sehr grosser Zahl vorhanden; allein was darüber publicirt worden ist, machte mir die Ayrton- und Perry'sche Annahme von vornherein unwahrscheinlich. In einer Arbeit von Prof. Safarik in Prag[3] über Versilberung des Glases zu optischen Zwecken finde ich beispielsweise eine Zusammenstellung der Angaben verschiedener Beobachter über Lichtverluste durch Linsen, Spiegel und Reflexionsprismen, derzufolge z. B. ein 3zölliges Fraunhofer'sches Objectiv nach Steinheil nur 0,760 — nach Robinson nur 0,739 des auffallenden Lichtes durchlässt. In einer Erörterung des Lichtverlustes, den die Linsensysteme der französischen Leuchtthürme verursachen, schätzt Allard[4] den Verlust durch Reflexion an der vorderen und hinteren Oberfläche der Linsen auf 0,05 bei senkrechter Incidenz, auf 0,075 bei Incidenz unter 45°, während der Verlust durch Absorption auf 0,03 für jeden centimeter der Linsendicke angenommen wird. Daraus würde folgen, dass sehr dünne Linsen, wie sie Ayrton und Perry anwenden wollen, zwar keinen nennenswerthen Verlust durch Absorption hervorrufen — obgleich dieselben nothwendigerweise immer doch eine nicht zu vernachlässigende Dicke haben müssen, wenn sie nicht eine zu geringe Oeffnung haben sollen —, dass aber der Reflexionsverlust unter allen Umständen übrig bleibt — ein Verhalten des Lichtes, welches übrigens ganz analog demjenigen der strahlenden Wärme bei stark diathermanen Körpern sein würde. Eine experimentelle Bestimmung des in Folge von Absorption und Reflexion durch die Dispersionslinse hervorgerufenen Lichtverlustes schien mir daher unumgänglich nothwendig zu sein.

Das zu den Versuchen benutzte Instrument (Fig. 1), welches in dem optischen

[1] Philosophical Magazine. XIV, 85. Juli 1882.

[2] l. c.

[3] Centralzeitung für Optik und Mechanik, 3. 1882.

[4] Mémoire sur l'intensité et la portée des phares.

Institute von A. Krüss hierselbst entworfen und ausgeführt wurde, ift ein Bunsen'sches Photometer, dessen Centimetertheilung am linken Ende beginnt. Im Nullpunkte dieser Theilung befindet sich bei allen Versuchen die als Einheit benutzte Lichtquelle. Die Zerftreuungs-Linse wird bei l, d. h. zwischen dem Papierschirm und der zu messenden Lichtquelle angebracht. Der Linsenhalter, das Schirmkastchen, sowie die Halter und Tische für die Kerzen oder Lampen sind nach der Höhe verstellbar, und können in der Führung des Holzgestelles des Instrumentes beliebig verschoben werden. Bei den Messungen bleiben Linse und Lichter an demselben Punkte der Scala; nur das innen geschwärzte Käftchen, in welchem sich der mit einem Paraffinfleck versehene Papierschirm befindet, wird verschoben und zwar grob mit der Hand, während die feinere Einftellung durch einen Zahntrieb geschieht. Die Ebene des Papierschirmes halbirt den stumpfen Winkel

Fig. 1.

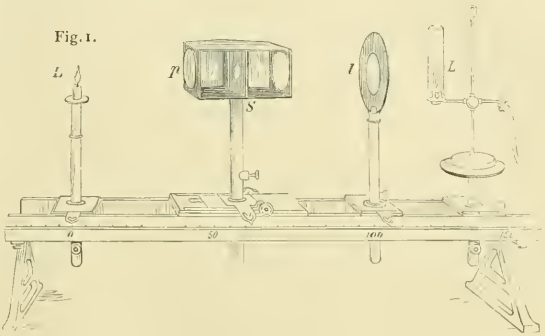
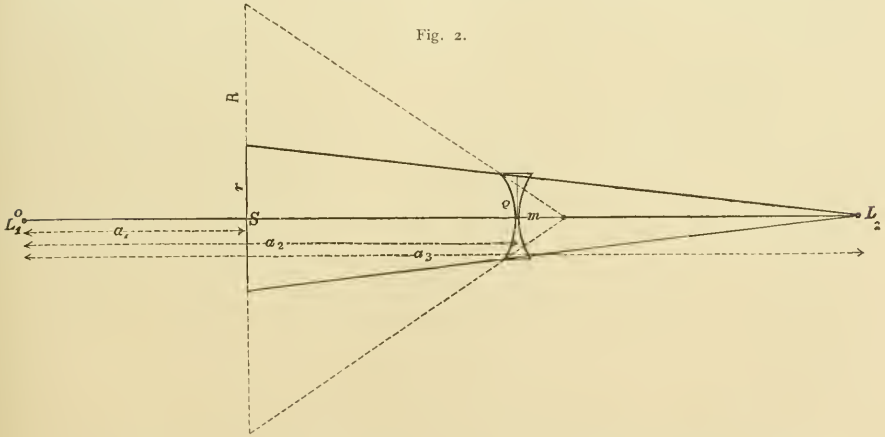


Fig. 2.



zweier Planspiegel, welche die Rückwand des vorne offenen Kästchens bilden, so dass der Beobachter bei bequemer Stellung des Kopfes die beiden Bilder der beiden Seiten des Schirmes gleichzeitig in normaler Sehweite nebeneinander erblickt. Die

Einstellung kann so mit recht grosser Genauigkeit erfolgen. Die Seitenwände des Schirmkastens sind Behufs Eintritt der Lichtstrahlen kreisförmig ausgeschnitten; der Rand dieser Ausschnitte gestattet ebenfalls das Einsetzen von Linsen oder planparallelen Glasplatten, auf deren Zweck weiter unten näher eingegangen werden wird.

Die für die Berechnung des Verhältnisses N der Lichtstärken zweier den Schirm S des Photometers (vergl. Fig. 2) gleich stark beleuchtenden Lichtquellen L_1 und L_2 nöthige Formel lässt sich wie folgt ableiten. Es sei das Normallicht L_1 im Nullpunkte der Skala aufgestellt und es bedeute bei gleich starker Beleuchtung des Schirmes

a_1 die Entfernung des Schirmes vom Nullpunkt,
a_2 » » der Linse » »
a_3 » » des Lichtes L_2 » »
p » Brennweite der Linse,
ϱ den Radius der Linsenöffnung,
m die Entfernung des durch die Linse erzeugten virtuellen Bildes der Lichtquelle L_2 von der Linse.

Dann hat man zunächst nach der allgemeinen Linsenformel

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a_3 - a_2}$$

oder

$$m = \frac{p\,(a_3 - a_2)}{a_3 - a_2 - p}$$

und da hier p negativ, so ist

$$m = -\frac{p\,(a_3 - a_2)}{a_3 - a_2 + p}$$

Dies ist der numerische Werth der Entfernung des virtuellen Bildes der Lichtquelle L_2 von der Linse.

Nun würde, wenn in S gleiche Lichtstärke vorhanden ist, ohne Anwendung der Linse das Intensitätsverhältniss der beiden Lichtquellen sein $\frac{L_2}{L_1} = \left(\frac{a_3 - a_1}{a_1}\right)^2$

Ferner würde, wenn die Linse nicht vorhanden wäre, ein von L_2 ausgehendes Strahlenbündel, welches den durch den Radius ϱ bestimmten Raum passirt, den Schirm S auf einer Kreisfläche vom Radius r beleuchten. Durch die zerstreuende Wirkung der Linse erlangt aber der beleuchtete Kreis den Radius R, d. h. die Schwächung der Intensität des den Fleck des Schirmes treffenden Lichtes findet in dem Verhältniss von $\frac{R^2}{r^2}$ statt, oder mit anderen Worten, das wahre Verhältniss der Lichtstärken ist

$$N = \left(\frac{a_3 - a_1}{a_1} \cdot \frac{R}{r}\right)^2$$

Nun ist

$$R : \varrho = a_2 - a_1 + m : m$$
$$r : \varrho = a_3 - a_1 : a_3 - a_2$$

wo m positiv zu nehmen ist.

Da hieraus $\frac{R}{r} = \frac{(a_2 - a_1 + m)\,(a_3 - a_2)}{(a_3 - a_1)\,m}$, so folgt

$$N = \left[\frac{(a_3 - a_1)}{a_1} \cdot \frac{(a_2 - a_1 + m)(a_3 - a_2)}{(a_3 - a_1)\, m}\right]^2$$

Wird hier der Werth von m eingesetzt, so ist

$$N = \left[\frac{\left(a_2 - a_1 + \frac{p\,(a_3 - a_2)}{a_3 - a_2 + p}\right)(a_3 - a_2)}{\frac{p\,(a_3 - a_2)}{(a_3 - a_1 + p)} \cdot a_1}\right]^2$$

oder $$N = \left[\frac{(a_2 - a_1)(a_3 - a_2 + p) + p\,(a_3 - a_2)}{p\, a_1}\right]^2$$

woraus schliesslich

$$N = \left[\frac{(a_3 - a_2)(a_2 - a_1) + p\,(a_3 - a_1)}{p\, a_1}\right]^2$$

als die für das Dispersionsphotometer der beschriebenen Art gültige Formel für die Berechnung des Intensitätsverhältnisses folgt.

Für die praktische Anwendung liefert die Discussion dieser Formel noch einen nützlichen Fingerzeig. Offenbar hängt die schwächende Wirkung der Linse von ihrer Stellung zwischen Lichtquelle und Schirm ab. Wird a_2 gleich a_3 oder a_1, d. h. wird die Linse bis in den Ort der Lichtquelle oder des Schirmes gerückt, so wird das erste Glied des Zählers der Formel gleich Null und diese selbst reducirt sich auf $N = \left(\frac{a_3 - a_1}{a_1}\right)^2$, d. h. auf die für gewöhnliche Beobachtungen ohne Linse gültige Formel. Eine einfache Ueberlegung zeigt, dass in der That bei diesen beiden Stellungen die Wirkung der Linse verschwinden muss, dass also diese Wirkung bei irgend einer mittleren Stellung ein Maximum sein muss. Es ergiebt sich leicht, dass diese Stellung bei $\frac{a_3 - a_2}{2}$ liegt; denn der gefundene Ausdruck, als Function von a_2 betrachtet, erlangt sein Maximum, wenn $(a_3 - a_2)(a_2 - a_1)$ seinen grössten Werth erreicht. Dieses Glied ist, für irgend einen Abstand $a_3 - a_1$, das Produkt aus den beiden durch die Stellung der Linse gebildeten Abschnitten dieses Abstandes, woraus nach einem bekannten Satze für $a_3 - a_2 = a_2 - a_1$ oder für $a_2 = \frac{a_3 + a_1}{2}$ das Maximum der Function folgt. Vom Orte der Lichtquelle L_2 aus gerechnet, liegt also das Maximum der Linsenwirkung in $a_3 - \frac{a_3 + a_1}{2} = \frac{a_3 - a_1}{2}$, d. h. die zerstreuende Wirkung der Linse ist am stärksten, wenn sich dieselbe in der Mitte zwischen der Lichtquelle und dem Papierschirm befindet.

Das beschriebene Instrument gestattete einen etwaigen durch Absorption resp. Reflexion an der Dispersionslinse hervorgebrachten Lichtverlust zu bestimmen, da die Linse entfernt werden konnte. Es wurden zu dem Zwecke zunächst einige correspondirende Beobachtungsreihen angestellt, welche sich auf

1) Stearinkerze und Gasrundbrenner,
2) Petroleumrundbrenner und Gasrundbrenner
und 3) Gasrundbrenner und elektrische Incandescenzlampe (Müller's System) bezogen. Die hierzu benutzten Linsen hatten 18 und 50 cm negative Brennweite. Die Beobachtungen wurden in einem Dunkelzimmer unter Anwendung möglichst ruhig brennender Flammen ausgeführt. Kerzen sind freilich nur schwierig für die Beobachtungen zu verwenden; dagegen lassen sich Petroleum- und Gasflammen — letztere durch sorgfältige Druckregulirung namentlich bei Tage — längere Zeit hindurch ausserordentlich constant erhalten; dasselbe gilt von den Incandescenzlampen. Ausserdem wurden in der Regel eine mehr oder weniger grosse Zahl von Beobachtungen ausgeführt und zwar stets alternirend mit und ohne Anwendung der Linse. Durch dieses Verfahren machen sich allmähliche Aenderungen in dem Verhältniss der Lichtstärken in beiden Beobachtungsreihen in gleicher Weise geltend; zur Berechnung des Intensitätsverhältnisses N wurde innerhalb jeder Reihe aus den sämmtlichen Ablesungen das Mittel genommen. Die folgenden Tabellen enthalten die Resultate dieser ersten Versuchsreihen. Die Maasse sind Centimeter; das am Schlusse jeder Tabelle angegebene Verhältniss $\frac{N_1}{N}$ bezeichnet das Verhältniss der mit und ohne Linse gemessenen Lichtintensität.

I Kerze und Gasbrenner.

ohne Linse:	mit Linse:
$a_1 =$ 35,5 cm, 35,3 »	$a_1 = 30{,}1$ cm
in Mittel $a_1 = 35{,}4$ cm	$a_2 = 100$ »
$a_3 = 180$ »	$a_3 = 120$ »
$N = 16{,}690$	$p = 50$ »
$\frac{N_1}{N} = 0{,}919$	$N_1 = 15{,}333$

II. Petroleum- und Gasbrenner.

1) p = 18 cm

ohne Linse:	mit Linse:
$a_1 =$ 61,3 cm, 61,4 », 61,6 », 61,5 »	$a_1 =$ 56,1 cm, 56,1 », 56 », 56,1 »
$a_1 = 61{,}5$ cm	$a_1 = 56{,}1$ cm
$a_3 = 140$ »	$a_2 = 80$ »
$N = 1{,}629$	$a_3 = 100$ »
	$N_1 = 1{,}577$
$\frac{N_1}{N} = 0{,}968$	

ohne Linse:	mit Linse:
$a_1 =$ 52 cm, 52 », 52 », 51,8 », 51,8 »	$a_1 =$ 68,5 cm, 68,6 », 68,4 », 68,3 »
$a_1 = 51{,}9$ cm	$a_1 = 68{,}4$ cm
$a_3 = 120$ »	$a_2 = 95$ »
$N = 1{,}722$	$a_3 = 120$ »
	$N_1 = 1{,}671$
$\frac{N_1}{N} = 0{,}970$	

ohne Linse:	mit Linse:
$a_1 =$ 50,8 cm, 50 », 49,8 », 49,5 », 49,4 », 49 », 49 », 48,7 »	$a_1 =$ 51,2 cm, 51,1 », 50,3 », 50,2 »
$a_1 = 49{,}5$ cm	$a_1 = 50{,}7$ cm
$a_3 = 110$ »	$a_2 = 70$ »
$N = 1{,}494$	$a_3 = 90$ »
	$N_1 = 1{,}435$
$\frac{N_1}{N} = 0{,}961$	

2) p = 50 cm.

ohne Linse:		mit Linse:		ohne Linse:		mit Linse:	
$a_1 =$	47,6 cm	$a_1 =$	44,1 cm	$a_1 =$	51,5 cm	$a_1 =$	60,7 cm
	47,6 »		44 »		51,4 »		60,7 »
	47,6 »		44 »		51,3 »		60 »
	47,4 »		43,9 »		51 »		60 »
					51 »		
a_1 =	47,5 cm	a_1 =	44 cm			a_1 =	60,3 cm
a_3 =	110 »	a_2 =	70 »	a_1 =	51,2 cm	a_2 =	90 »
		a_3 =	80 »	a_3 =	110 »	a_3 =	120 »
N =	1,731			N =	1,805		
		N_1 =	1,643			N_1 =	1,677
	$\frac{N_1}{N}$ = 0,949				$\frac{N_1}{N}$ = 0,929		

III. Gasbrenner und Incandescenzlampe.

1) p = 18 cm				2) p = 50 cm			
ohne Linse:		mit Linse:		ohne Linse:		mit Linse:	
a_1 =	70,5 cm	a_1 =	100 cm	a_1 =	81,7 cm	a_1 =	86,3 cm
a_3 =	170 »	a_2 =	140 »	a_3 =	200 »	a_2 =	125,2 »
		a_3 =	170 »			a_3 =	170 »
N =	1,992			N =	2,097		
		N_1 =	1,868			N_1 =	1,887
	$\frac{N_1}{N}$ = 0,937				$\frac{N_1}{N}$ = 0,900		

Die von der Strahlenzerstreuung unabhängige Schwächung des durch die Linse gegangenen Strahlenbündels tritt somit in allen Versuchen übereinstimmend hervor. Der durch die Beobachtungen constatirte Lichtverlust schwankt, je nach der Natur des Lichtes und der Beschaffenheit der Linse zwischen 3 und 10 Procent, — die letztere beträchtliche Zahl ergab sich beim Durchgang von elektrischem Incandescenzlicht durch die benutzte Linse von 50 cm Brennweite. Vergleicht man die Resultate untereinander, so ergiebt sich die auffallende Erscheinung, dass von den benutzten beiden Linsen diejenige von kürzerer Brennweite (18 cm) in allen Fällen einen geringeren Verlust verursachte, wie die von grösserer Brennweite (50 cm) — erstere z. B. bei Petroleum- und Gaslicht (Tab. II) im Mittel 3,4 %, letztere 7,1 %, bei Gas- und elektrischem Licht resp. 6,3 und 10 %. — Die Ursache dieses merkwürdigen Unterschiedes konnte möglicherweise darin liegen, dass die erstere Linse in der Mitte eine merklich geringere Dicke hatte wie die letztere, obgleich die Analogie des Verhaltens diathermaner Körper gegen strahlende Wärme zu der Annahme drängte, dass der beobachtete Verlust wesentlich durch Reflexion und nur in sehr geringem Grade durch Absorption bedingt sei, dass somit die doch immer nur unbedeutenden Dickenunterschiede der Linsen von keinem in Betracht kommenden Einflusse sein konnten. Zur Entscheidung dieser für die Praxis nicht unwesentlichen Frage erschien es am

einfachsten, eine Anzahl von Versuchsreihen durchzuführen, in denen alternirend mit gewöhnlichen Messungen solche angestellt wurden, bei denen das Licht der stärkeren Lichtquelle statt durch Linsen durch planparallele Glasplatten von verschiedener Dicke gehen musste. Es konnte so, unabhängig von jeder Linsenwirkung, unmittelbar die etwaige Abhängigkeit der beim Durchgang auftretenden Lichtschwächung von der Dicke des Glases festgestellt werden.

Die im Folgenden mitgetheilten Beobachtungen betreffen das Verhältniss der Lichtstärken der angegebenen Lichtquellen, je nachdem das Licht beider, ohne oder mit Einschaltung einer planparallelen Spiegelglasplatte in den Weg der Strahlen des stärkeren Lichtes, gemessen wurde. Die angewandten Platten waren resp. 1, 2,9 und 4,8 mm dick. Zunächst wurden einige Versuchsreihen ausgeführt, um zu constatiren, dass, wie von vornherein zu erwarten war, die grössere oder geringere Entfernung einer planparallelen Platte von der Lichtquelle, deren Strahlen durch sie hindurchgehen, auf die Grösse des Lichtverlustes keinen Einfluss habe. Diese, in Tabelle IV aufgenommenen Versuche zeigten, dass sich die Sache in der That so verhält; so ging z. B. durch eine in 10 cm Entfernung von einem Gasbrenner befindliche Platte von 4,9 mm Dicke 0,906 des Lichtes derselben; genau derselbe Bruchtheil ging durch die Platte, wenn sich dieselbe in 50 cm Entfernung, nahe beim Schirm, befand. (Mittel aus 8 resp. 7 Messungen.) Die Platten wurden in Folge dessen stets in die Seitenwand des Schirmkästchens selbst (bei p Fig. 1) eingefügt.

IV. Platte von 4,8 mm Dicke.

Petroleum- und Gasbrenner.

ohne Platte:	Gasbr. mit Platte in 20 cm Abstand:
85,3 cm	84,3 cm
86,2 »	85 »
87,3 »	85,7 »
87,5 »	86 »
$a_1 =$ 88,3 »	86,5 »
88 »	86,7 »
89 »	87,5 »
89,8 »	88,2 »
90 »	
$a_1 =$ 87,9 cm	$a_1 =$ 86,3 cm
$a_3 =$ 150 »	$a_3 =$ 150 »
$N =$ 2,004	$N_1 =$ 1,835

$$\frac{N_1}{N} = 0{,}916$$

ohne Platte:	Gasbr. mit Platte in 45 cm Abstand:
90,5 cm	89,2 cm
90,9 »	89,5 »
91,6 »	90,2 »
$a_1 =$ 91,9 »	90,5 »
92,3 »	91 »
92,7 »	91,3 »
92,8 »	
$a_1 =$ 91,8 cm	$a_1 =$ 90,3 cm
$a_3 =$ 150 »	$a_3 =$ 150 »
$N =$ 2,487	$N_1 =$ 2,288

$$\frac{N_1}{N} = 0{,}920$$

Petroleum- und Gasbrenner.

ohne Platte:	Gasbr. mit Platte in 10 cm Abstand:
61,3 cm	63,2 cm
61,3 »	62,8 »
61,3 »	63 »
61,3 »	63,2 »
61,2 »	63 »
61,3 »	62,9 »
61,3 »	63,1 »
$a_1 =$ 61,3 cm	$a_1 =$ 63 cm
$a_3 =$ 140 »	$a_3 =$ 140 »
$N =$ 1,648	$N_1 =$ 1,494
$\frac{N_1}{N} =$ 0,906	

ohne Platte:	Gasbr. mit Platte in 50 cm Abstand:
60,8 cm	62,7 cm
61 »	62,6 »
61,3 »	63 »
61,1 »	62,5 »
61,1 »	62,8 »
61 »	63 »
60,7 »	62,5 »
60,9 »	62,7 »
$a_1 =$ 61 cm	$a_1 =$ 62,7 cm
$a_3 =$ 140 »	$a_3 =$ 140 »
$N =$ 1,677	$N_1 =$ 1,520
$\frac{N_1}{N} =$ 0,906	

V. Platte von 1 mm Dicke.

2 Stearinkerzen

ohne Platte:	mit Platte:
51,5 cm	51,6 cm
51 »	51,9 »
50,6 »	51,6 »
50,6 »	52,1 »
52 »	53,4 »
52,5 »	53,5 »
53 »	53,8 »
53,1 »	54,7 »
51 »	51,8 »
50,8 »	52 »
$a_1 =$ 51,6 cm	$a_1 =$ 52,6 cm
$a_3 =$ 100 »	$a_3 =$ 100 »
$N =$ 0,880	$N_1 =$ 0,812
$\frac{N_1}{N} =$ 0,923	

Stearinkerze und Petroleumbrenner

ohne Platte:	mit Platte:
37,9 cm	$a_1 =$ 39,5 cm
38,4 »	$a_3 =$ 150 »
$a_1 =$ 38,15 cm	$N_1 =$ 7,826
$a_3 =$ 150 »	
$N =$ 8,565	
$\frac{N_1}{N} =$ 0,914	

Engl. Normal-Spermacetikerze und Gasbrenner

ohne Platte:	mit Platte:
26,7 cm	28,1 cm
27,1 »	28,1 »
26,7 »	27,8 »
26,4 »	27,3 »
26 »	27 »
25,8 »	26,9 »
$a_1 =$ 26,45 cm	$a_1 =$ 27,53 cm
$a_3 =$ 120 »	$a_3 =$ 120 »
$N =$ 12,52	$N_1 =$ 11,28
$\frac{N_1}{N} =$ 0,902	

VI. Platte von 2,9 mm Dicke.

2 Stearinkerzen

ohne Platte:	mit Platte:
51,5 cm	52,2 cm
50,7 »	52,3 »
51,2 »	51,7 »
50,1 »	51,1 »
50,4 »	51,4 »
$a_1 =$ 49,8 »	50,8 »
49,8 »	51 »
50 »	51,4 »
51 »	52,1 »
51 »	52 »
51 »	
$a_1 =$ 50,5 cm	$a_1 =$ 51,6 cm
$a_3 =$ 100 »	$a_3 =$ 100 »
$N = 0{,}961$	$N_1 = 0{,}880$

$$\frac{N_1}{N} = 0{,}916$$

Petroleum- und Gasbrenner

ohne Platte:	Gasbrenner mit Platte:
92,5 cm	
92,6 »	90,8 cm
93,3 »	91,5 »
$a_1 =$ 94 »	92 »
94,4 »	93 »
95,3 »	93 »
95,6 »	94,2 »
96 »	94,5 »
$a_1 =$ 94,2 cm	$a_1 =$ 92,7 cm
$a_3 =$ 150 »	$a_3 =$ 150 «
$N = 2{,}850$	$N_1 = 2{,}617$

$$\frac{N_1}{N} = 0{,}918$$

VII. Platte von 4,8 mm Dicke.

2 Stearinkerzen

ohne Platte:	mit Platte:
51,5 cm	52 cm
50,5 »	51,7 »
50,9 »	51,7 »
51,5 »	52,3 »
51,1 »	52 »
$a_1 =$ 51 »	52,5 »
51,4 »	52,7 »
51,6 »	52,5 »
51 »	52,6 »
51,2 »	52,4 »
51,4 »	$a_1 =$ 52,2 cm
$a_1 =$ 51,2 cm	$a_3 =$ 100 »
$a_3 =$ 100 »	$N_1 = 0{,}838$
$N = 0{,}908$	

$$\frac{N_1}{N} = 923$$

Stearinkerze und Petroleumbrenner

ohne Platte:	mit Platte:
39 cm	41 cm
40 »	41,6 »
40,1 »	41,7 »
$a_1 =$ 40,5 »	42,1 »
40,7 »	42,3 »
40,6 »	42,3 »
40,8 »	$a_1 =$ 41,8 cm
$a_1 =$ 40,4 cm	$a_3 =$ 150 »
$a_3 =$ 150 »	$N_1 = 6{,}700$
$N = 7{,}360$	

$$\frac{N_1}{N} = 0{,}910$$

Engl. Normal-Spermacetikerze und Gasbrenner

ohne Platte:	mit Platte:
26,2 cm	27,3 cm
26,4 »	27,6 »
$a_1 =$ 26,7 »	28 »
26 »	27 »
25,2 »	26 »
$a_1 =$ 26,1 cm	$a_1 =$ 27,2 cm
$a_3 =$ 120 «	$a_3 =$ 120 »
$N = 12{,}94$	$N_1 = 11{,}66$ »

$$\frac{N_1}{N} = 0{,}901$$

Die in den vorstehenden Tabellen enthaltenen Messungsresultate lassen einen Einfluss der Dicke der Platten auf den Lichtverlust nicht erkennen. Es gingen

durch eine Platte	von 1 mm,	2,9 mm,	4,8 mm Dicke
von Stearinkerzenlicht	0,923	0,916	0,923
» Petroleumlicht	0,914	—	0,910
» Gaslicht	0,902	0,918	0,901 0,906 0,906 0,916 0,920

Dagegen scheint der Lichtverlust bei den helleren (weisseren) Lichtquellen (Petroleum- und Gaslicht) etwas grösser zu sein, als bei dem gelblicheren Kerzenlicht — ein Resultat, das an den in Tab. III. erwähnten grössten Lichtverlust der elektrischen Incandescenzlampe durch eine Dispersionslinse (10 %) erinnert. — Der Umstand, dass die Dicke der benutzten Platten auf den Lichtverlust ohne sicher nachweisbaren Einfluss war, kann wohl nur dadurch erklärt werden, dass der von der Absorption abhängige Theil des Lichtverlustes sehr klein ist im Verhältniss zu dem von der Reflexion hervorgerufenen. Wenn dem so ist, so kann der früher erwähnte geringere Lichtverlust, der durch die Linse von kürzerer Brennweite hervorgerufen wurde, nicht durch die geringere Dicke derselben veranlasst worden sein. Der wahre Grund dieses Verhaltens liegt wohl nur in dem Umstande, dass die der Ableitung der Photometerformel zu Grunde liegende allgemeine Linsenformel von der Voraussetzung punktförmiger Lichtquellen ausgeht — eine Voraussetzung, der unter den hier in Betracht kommenden Lichtquellen höchstens das elektrische Licht einigermassen entspricht. Der durch die räumliche Ausdehnung, z. B. einer Gasflamme bewirkte Fehler muss aber, da die nicht in der Linsenaxe liegenden Punkte derselben weiter von der Linse entfernt sind, als die abgelesene Entfernung beträgt, nothwendigerweise in einer geringeren Zerstreuung des Lichtes dieser Punkte bestehen, d. h. die Formel muss entsprechend einen etwas zu grossen Werth der gemessenen Lichtstärke ergeben. Dies wird um so mehr der Fall sein, je näher die Gasflamme der Linse ist. Da nun bei Linsen von kurzer Brennweite der Abstand der Lichtquelle von denselben kleiner wird als bei solchen von grosser Brennweite, so muss dieser Fehler bei ersteren stärker auftreten wie bei letzteren; — er wird aber bei stärkeren elektrischen Lichtern mehr und mehr verschwinden.

Von Interesse ist nunmehr der Vergleich des durch Linsen und des durch Platten bewirkten Lichtverlustes. Es gingen (Tab. I.—III.)

durch eine Linse von	18 cm	50 cm Brennweite
Gaslicht	0,961 0,968 0,970	0,919 0,929 0,949
elektr. Incandescenzlicht	0,937	0,900

Der Lichtverlust durch Platten war somit, vom elektrischen Lichte abgesehen, im Mittel etwas grösser, wie der durch Linsen, selbst bei der Linse von 50 cm Brenn-

weite. Zweifellos liegt auch dies an dem Umstande, dass die Lichtquellen nicht punktförmig waren.

Für die praktischen Aufgaben der Messung starker Lichter besteht somit das Resultat der gemachten Beobachtungen darin, dass

erstens der durch eine Dispersionslinse verursachte Lichtverlust bis zu 10 Procent betragen und durch sehr dünne Linsen nicht vermieden werden kann;

und dass zweitens der einer bestimmten Linse bei einer bestimmten nicht punktförmigen Lichtquelle zukommende Verlustfactor durch vorgängige Versuche ermittelt werden muss. Bei elektrischen Lichtern wird dieser Verlustfactor für verschiedene Linsen nicht wesentlich verschieden sein.

Mit Berücksichtigung dieser Vorsicht kann die Anwendung von Dispersionslinsen in der Photometrie grosse Dienste leisten. Es wird dabei in der Regel nicht nöthig sein, den durch die Linsen verursachten Lichtverlust durch Rechnung zu berücksichtigen, vielmehr liegt es nahe, denselben durch eine planparallele Platte von gleicher Durchlassfähigkeit, welche in den Weg des Normallichtes eingeschaltet wird, zu compensiren.

Ich habe, um die Zulässigkeit dieses Verfahrens zu prüfen, noch mehrere Beobachtungsreihen durchgeführt, bei welchen die Strahlen des Einheitslichtes eine Platte von 1 resp. 4,8 mm Dicke, diejenigen des zu messenden Lichtes eine Linse von 18 resp. 50 cm Brennweite passirten. Die Compensationsplatte befand sich in der entsprechenden Seitenwand des Schirmkästchens. Die Versuche wurden wieder alternirend ohne Platten und Linsen und mit denselben ausgeführt; das Verhältniss $\frac{N_1}{N}$ (welches bei gleichem Verlustfactor von Platte und Linse stets = 1 sein müsste) bezieht sich auf die nach beiden Methoden erhaltenen Lichtstärken.

VIII. Petroleum- und Gasbrenner.

Ohne Platte und Linse:	Petrol.-Br. mit Pl. von 4,8 mm. Gasbr. mit Linse von 18 cm.
$a_1 =$ 61,3 cm	55 cm
61,5 »	55,2 »
61,2 »	55,1 »
61,4 »	55,2 »
$a_1 =$ 61,35 cm	$a_1 =$ 55,125 cm
$a_3 =$ 140 »	$a_2 =$ 80 »
	$a_3 =$ 100 »
$N =$ 1,643	$N_1 =$ 1,730
$\frac{N_1}{N} =$ 1,052	

Ohne Platte und Linse:	Petrol.-Br. mit Pl. von 4,8 mm. Gasbr. mit Linse von 50 cm.
$a_1 =$ 61,6 cm	49,6 cm
61,6 »	49,6 »
61,7 »	49,5 »
61,6 »	49,4 »
61,5 »	49,4 »
61,5 »	49,5 »
61,5 »	49,5 »
$a_1 =$ 61,57 cm	$a_1 =$ 49,5 cm
$a_3 =$ 140 »	$a_2 =$ 75 »
	$a_3 =$ 100 »
$N =$ 1,623	$N_1 =$ 1,633
$\frac{N_1}{N} =$ 1,006	

IX. Gasbrenner und Incandescenzlampe (Müller's System).

Ohne Platte und Linse:	Gasbr. mit Platte von 1 mm. Incand.-Lampe m. Linse v. 50 cm.	Ohne Platte und Linse:	Gasbr. mit Platte von 4,8 mm. Incand.-Lampe m. Linse v. 50 cm.
$a_1 =$ 71,6 cm	58,4 cm	$a_1 =$ 71,6 cm	58,6 cm
71,4 »	58,3 »	71,5 »	58,5 »
71,4 »	58,4 »	71,5	58,5 »
71,5 »	58,5 »	71,5	58,6 »
$a_1 =$ 71,5 cm	$a_1 =$ 58,4 cm	$a_1 =$ 71,5 cm	$a_1 =$ 58,55 cm
$a_3 =$ 150 »	$a_2 =$ 85 »	$a_3 =$ 150 »	$a_2 =$ 85 »
$N =$ 1,205	$a_3 =$ 110 »	$N =$ 1,205	$a_3 =$ 110 »
	$N_1 =$ 1,235		$N_1 =$ 1,220
$\frac{N_1}{N} =$ 1,024		$\frac{N_1}{N} =$ 1,012	

Uebereinstimmend mit den vorherigen Versuchen zeigt sich auch hier wieder, dass die Linse von 18 cm Brennweite einen geringeren Verlust herbeiführte als eine planparallele Platte von 4,8 cm Dicke, sodass bei gleichzeitiger Anwendung beider ein um 5,2 Procent zu hohes Resultat der Lichtstärke des Gasbrenners herbeigeführt wurde. Dagegen ergab bei Gaslicht die Messung mit Anwendung derselben Platte und der Linse von 50 cm Brennweite fast vollkommen dasselbe Resultat, wie die directe Messung ohne Benutzung derselben. Ganz denselben Erfolg hatten die mit elektrischem Incandescenzlicht durchgeführten Versuche. Die Abweichungen des Resultates der Messung mit Linse und Platte von der directen Bestimmung betragen hier nur 1 resp. 2 Procent. Das Princip der Compensation des von der Linse herrührenden Lichtverlustes durch eine planparallele Platte erscheint somit für die praktische Photometrie wohl anwendbar.